

УДК 631.331

В.В. Тарасюк, В.Ф. Дідух, Ю.М. Мошеров

Луцький національний технічний університет

ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ГРАНУЛИ КУЛЯСТОЇ ФОРМИ

У статті наведений аналіз кочення сформованої гранули кулястої форми по криволінійній поверхні пристрою для формування гранул. Приводиться опис конструктивних особливостей запропонованого механізму. Запропоновано також методику розрахунку кінематичних параметрів та визначено їх основні значення для одиночної гранули, сформованої на основі сапропелю.

Ключові слова: сапропель, органо-мінеральні добрива, процес виготовлення, гранула, вологість.

Постановка проблеми. Процес виготовлення ОМД (органомінеральних добрив) на основі сапропелів енергоємний та складний. Існуючі способи гранулювання таких матеріалів вимагають вдосконалення, направлені на зменшення витрат при виробництві готової продукції, підвищення якості та збільшення відсотку виходу товарної фракції. Тому, при проектуванні засобів гранулювання, зусилля необхідно спрямувати на зниження металомісткості, зменшення енергетичних витрат на виготовлення добрив, особливо у випадках з новими матеріалами такими, як сапропель. Враховуючи те, що вихідним матеріалом для отримання гранули можуть бути частинки ОМС (органомінеральної суміші) невизначеної форми та вологості у межах 30-50 %, а кінцева вологість гранул з врахуванням технічних вимог до 10 % та розмір гранул 4-6 мм, необхідна методика розрахунку кінематичних параметрів кочення гранул по криволінійній поверхні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основна суть наукових досліджень спрямована на розробку засобів формування гранул методом пресування [1, 2, 3]. Але наявність вологи у сапропелях природного стану перешкоджає виконанню даного процесу. Тому вирішити дану проблему можливо використавши метод обкочування [4, 5]. Відомі методики визначення кінематичних параметрів розроблені для сільськогосподарських матеріалів і при прийнятті відповідних допущень дозволяють їх встановлювати [6].

Мета роботи. Провести аналіз переміщення гранули кулястої форми по криволінійній нагрітій поверхні запропонованого засобу формування гранул та визначити їх основні кінематичні параметри.

Результати дослідження. Головним елементом у конструкції (рис. 1) засобу формування гранул є робоча поверхня для обкочування гранул, виготовлена у вигляді півциліндра. Особливістю поверхні обкочування є те, що її робоча зона поділена на дві частини: зону підготовки гранул до обкочування та зону обкочування. Зона підготовки гранул до обкочування – це гладка поверхня, де проходить процес формування одношарового потоку, прогрівання потоку частинок. Крім цього, нагріта коливна криволінійна поверхня розташована в закритому корпусі, у простір якого додатково подається сушильний агент, що служить як для нагріву гранули, так і для відведення випарюваної вологи з потоку частинок, що піддаються гранулюванню.

Частинки, що подаються в зоні підготовки гранул до обкочування проходять початковий етап формування гранул кулястої форми, та рівномірно розміщуються по поверхні, що служить кращому переходу до зони обкочування. Зона обкочування – це ребриста поверхня, яка створює умови для руху гранули одночасно поступально та обертаючись, а це покращує процес перетворення частинок довільної форми у кулясту. Конструкція робочої поверхні дозволяє змінювати радіус кривизни робочої поверхні, частоти коливань, кута нахилу поверхні до горизонталі. Зміна вказаних параметрів передбачає можливість застосування даного засобу для гранулювання різних видів матеріалів. Нагрівання робочої поверхні здійснюється електричним струмом, що дозволяє вести контроль за температурою робочої поверхні. Втрати теплоти зменшує термоізоляційна частина робочої поверхні. Переміщення частинок у зоні обкочування під дією температури забезпечить необхідну траєкторію руху для формування гранул кулястої форми з одночасним зниженням вологості та досягненням належної твердості гранул.

Тривалість перебування гранул на нагрітій поверхні залежить від частоти коливань n та амплітуди коливань A , а кут нахилу α робочої поверхні – пристроєм вмонтованим у корпус засобу формування гранул.

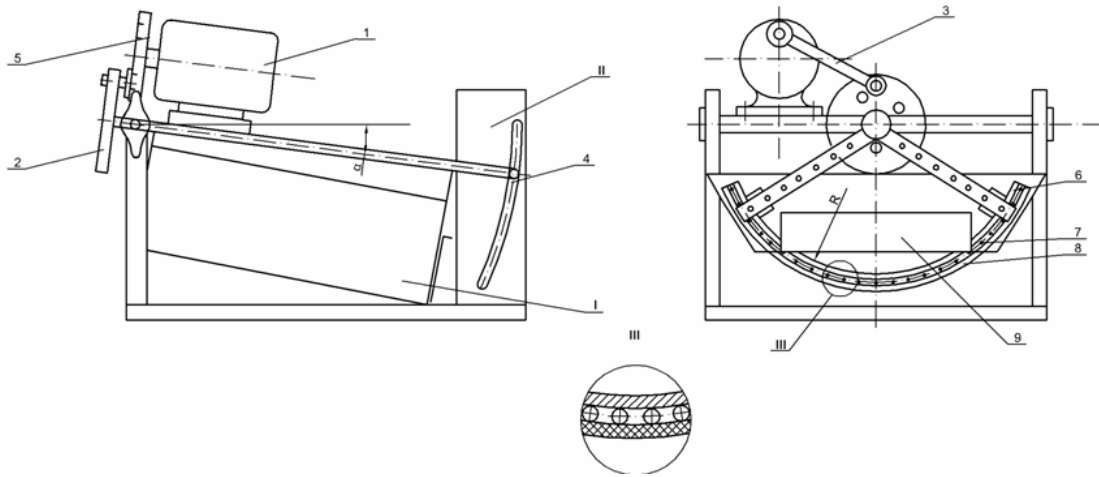


Рис. 1. Схема конструкції засобу формування гранул ОМД: 1 – електродвигун; 2 – приводний шків; 3 – шатун; 4 – пристрій регулювання кута нахилу камери обкочування; 5 – ведучий шків; 6 – робоча поверхня камери обкочування; 7 – нагрівальний елемент камери обкочування; 8 – ізоляційний елемент камери обкочування; 9 – заслінка; I – камера обкочування; II – рама (межі регулювання: $\alpha = 5...25^\circ$, $R = 0,5...1,5$ м, $i_{\text{нагр.}}^{\text{поверх}} = 60...120^\circ$).

Така конструкція засобу формування гранул органо-мінеральних добрив забезпечить високу ефективність виконання технологічного процесу при мінімальних затратах на формування та висушування гранул. Крім цього, створені всі умови отримання гранул необхідної твердості та вологості.

При коченні частинки ОМД кулястої форми по робочій поверхні, яка має форму частини кола радіусом $R_{\text{пов}} = 0,48$ м, вона здійснює рух прискорюючись до максимального значення, коли робоча поверхня знаходиться у початковому положенні, сповільнюється при досягненні крайнього положення на поверхні обкочування, де її швидкість та прискорення стають рівними нулю.

Розглянемо рух частинки кулястої форми масою m , коли вона знаходиться у крайньому положенні на робочій поверхні (рис. 2.). При цьому частинка радіусом r котиться по кривій, яка є частиною дуги кола радіусом R . У такому разі необхідно визначити кінематичні параметри кулеподібної частинки. Позначимо через θ кут між дотичною до даної кривої і віссю Ox , а шлях який пройде частинка через S . Відповідно кут PO_1Q також дорівнює θ . Таким чином, $S = R \cdot (\frac{\pi}{2} - \theta)$, а $Y_p = R \cdot \cos \theta$. Використавши закон збереження енергії при переміщенні кулеподібних тіл по криволінійних поверхнях [6], запишемо рівняння:

$$\frac{E_0}{m} = \frac{r^2 + \rho^2}{2} \theta^2 - g y_p + r g \cos \theta = \frac{r^2 + \rho^2}{2} \theta^2 - g R \cos \theta + r g \cos \theta. \quad (1)$$

При цьому,

$$\dot{\varphi} = \frac{\dot{S}}{r} + \dot{\theta} = \frac{R}{r} \frac{d}{dt} (\frac{\pi}{2} - \theta) + \dot{\theta} = \frac{R-r}{r} \cdot \dot{\theta}. \quad (2)$$

У початковий момент часу $t = 0$, значення константи також $E_0 = 0$. Якщо прийняти $\lambda = \frac{r^2}{r^2 + \rho^2}$, то розв'язок рівняння (1) матиме вигляд:

$$\frac{1}{2 \cdot \lambda} = (R-r)^2 \cdot \theta^2 = g \cdot (R-r) \cdot \cos \theta. \quad (3)$$

Звідси

$$\dot{\theta} = -\sqrt{\frac{2g\lambda}{R-r}} \sqrt{\cos \theta}. \quad (4)$$

Підставивши рівняння (4) у рівняння (2), отримаємо величину кутової швидкості переміщення частинки по криволінійній поверхні:

$$\dot{\varphi} = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot (R-r)}{r^2 + \rho^2}} \cdot \sqrt{\cos \theta}. \quad (5)$$

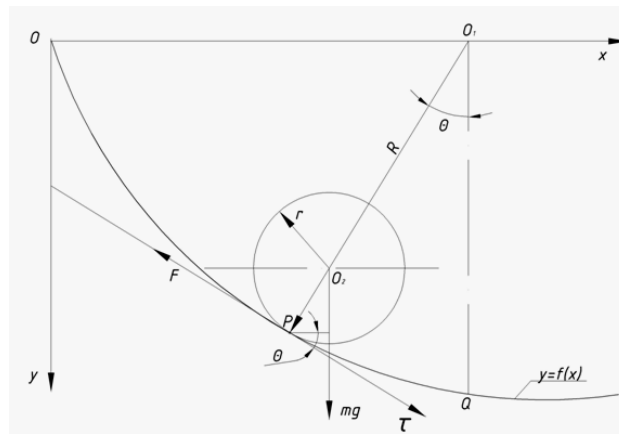


Рис. 2. Схема до розрахунку переміщення гранули по криволінійній поверхні

Швидкість центра мас кулеподібної частинки та проекції її вектора на координатні осі визначаються за відомими формулами:

$$V = r \cdot \dot{\varphi}, \quad V_x = V \cdot \cos \theta, \quad V_y = V \cdot \sin \theta. \quad (6)$$

Величину кутового прискорення отримаємо після диференціювання рівняння 5:

$$\begin{aligned} \ddot{\varphi} &= \frac{d}{dt} \cdot \left[\sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot (R-r)}{r^2 + \rho^2}} \cdot \sqrt{\cos \theta} \right] = \\ &= \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot (R-r)}{r^2 + \rho^2}} \cdot \frac{\sin \theta}{2\sqrt{\cos \theta}} \cdot \frac{d\theta}{dt} = \frac{rg}{r^2 + \rho^2} \cdot \sin \theta \end{aligned} \quad (7)$$

При $R = 0,48$ м, $r = 0,01$ м, $V_0 = 0$, $\theta = 0$, максимальна швидкість та прискорення кулеподібної частинки у найнижчій точці криволінійної поверхні будуть рівними:

$$\dot{\varphi} = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot (0,48 - 0,01)}{0,0001 + 0,2294}} \cdot 1 = 6,325 \text{ рад/с}, \quad \ddot{\varphi} = \frac{0,01 \cdot 9,81}{0,0001 + 0,2294} \cdot 0 = 0.$$

Швидкість центра мас кулеподібної частинки та проекції її вектора на координатні осі при цьому рівні, за умови коли $\theta = 0$: $V = V_x = 0,01 \cdot 6,326 = 0,063$ м/с, $V_y = 0$.

Інші параметри коливної поверхні краще визначати за допомогою експериментальних досліджень, які дозволять вибрати раціональну конструкцію засобу формування гранул ОМД на основі сапропелів методом обкочування.

Висновки

Застосування криволінійної нагрітої поверхні в якості засобу формування гранул ОМД на основі сапропелю дозволить частково знизити вологість частинок при перетворенні їх з довільної форми у кулясту, а отримані кінематичні параметри гранули встановити раціональні конструктивні параметри запропонованого засобу.

1. Дідух В.Ф. Особливості гранулювання сапропелевих органо-мінеральних сумішей (ОМС) / В.Ф. Дідух, І.Є. Цизь, Д.С. Русаков // Вісник Харківського технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. "Механізація сільськогосподарського виробництва". – Харків, 2006. – Т. 1., № 46. – С. 59-63.
2. Дідух В.Ф. Моделирование процессов производства органо-минеральных удобрений / В.Ф. Дідух, В.В. Сацюк, И.Е. Цизь, S. Sosnowski // MOTROL, Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Lublin, 2004. – Том 6. – С. 74-82.
3. Лопотко М.З. и др. Сапропели в сельском хозяйстве. – М.: Наука и техника, 1992. – 216 с.
4. Дідух В.Ф., Дослідження процесу формування гранул органо-мінеральних добрив методом обкочування / Дідух В.Ф. Тараймович І.В., Тарасюк В.В., Русаков Д.С. // Вісник Харківського технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. "Механізація сільськогосподарського виробництва" – Харків, 2011. – Т. 1. № 107. – С. 387-395.
5. Классен В.П. Основы техники гранулирования / В.П. Классен. – М.: Химия, 1982. – 624 с.
6. Заика П.М. Избранные задачи земледельческой механики. – Киев.: Изд-во УСХА, 1992. – 512 с.